

# Minimálisan leválasztható rétegvastagság vizsgálata S960QL és C45E acélok ellenirányú marással történő megmunkálása során

## Determination of minimum uncut chip thickness by means of conventional milling of S960QL, and C45E steels

PALÁGYI Imre, hallgató, Dr. BIRÓ István, egyetemi adjunktus

Budapesti Műszaki- és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar,  
Gyártástudomány- és technológia Tanszék, 1111. Budapest, Műgyetem rkp. 3., T épület 4. em.,  
Tel.: 06/1-463-2515, Fax: 06/1-463-3176, E-mail: [info@manuf.bme.hu](mailto:info@manuf.bme.hu), Honlap: <http://manuf.bme.hu>

### Abstract

*In this day and age technological advancements aim towards making small sized, compact products. This creates requirements for higher accuracy of machining procedures, where the minimum uncut chip thickness presents itself as a problem. The following research's aim is to determine this minimum uncut chip thickness and its dependence of the cutting speed and feed rate by means of conventional milling with everyday-use sized tools.*

### Kivonat

*A korszerű termékek fejlődése a miniaturizálás irányába folytatódik, az egyre kisebb méretű alkatrészek megfelelő pontosságú forgácsolása során felvetődik a minimális rétegvastagság problémája. Ez függ a forgácsolandó anyagtól, valamint a paraméterektől. Ezen rétegvastagság értékének meghatározását tűzi ki célul jelen kutatás, valamint az előtolás és forgácsoló sebesség hatásaira igyekszik eredményeket felmutatni, hagyományos méretű, ellenirányú megmunkálással.*

**Kulcsszavak:** minimális leválasztható rétegvastagság, ellenirányú marás, forgácsolósebesség, előtolás, acél

## 1. BEVEZETÉS

Napjainkban az általános fejlődési irány a termékek gyártása szempontjából a minél kisebb, kompaktabb termékek előállítása. Ez a fejlődés magával vonzza a mikromegmunkálások, főleg a forgácsoló jellegű megmunkálások fejlődését. A legnagyobb pontosságú felületeket az ipar jelenlegi állása szerint forgácsolással lehetséges gazdaságosan és tömegszerűen előállítani. Azonban nagyon vékony réteg leválasztása esetén a megmunkált felület repedezett, kitöredezett, rossz minőségű lehet. Ilyenkor a leválasztott anyagréteg vastagsága közel azonos a minimális leválasztható rétegvastagsággal. Ez nagyságrendileg a megmunkáló szerszám éllekerekítési sugarával megegyező rétegvastagságokon fordul elő. A forgácsolt anyag az él mentén kétfelé mozdul el: egyik része hidegalakító vasalással a munkadarabon marad, másik része forgácsként leválik [1]. Ez a mérethatás jelenségével is észlelhető, vagyis a forgácsolásra jellemző fajlagos forgácsolóerő progresszíven növekszik a rétegvastagság csökkentése esetén [2]. A forgácsoló él éllekerekítési sugara hatással van a  $h_{min}$  minimálisan leválasztható rétegvastagságra: növekvő sugár esetén  $h_{min}$  is növekszik az elméleti homlokszög változásának következtében [3]. A megmunkálás paramétereinek hatását illetően elmondható, hogy az eddigi tapasztalatok szerint az előtolás növelésével  $h_{min}$  értéke növekszik [4]. A forgácsolási erő komponenseire is hatással van  $h_{min}$ , ugyanis vasalási folyamatok esetén az él mozgására merőleges, normális erőkomponens értéke arányaiban nagyobb, mint forgácsolás esetén [5]. Hagyományos méretű szerszámmal ellenirányú marást végezve képződik egy átmenet a vasalásból forgácsleválasztásba, ugyanis ellenirányú marás esetén a leválasztott réteg névleges vastagsága zérusról növekszik a legfeljebb az élenkénti előtolás mértékéig a forgácsoló él pályájából adódóan [6]. E kinematikai és geometriai viszonyt kihasználva történt a forgácsolási kísérletek tervezése.

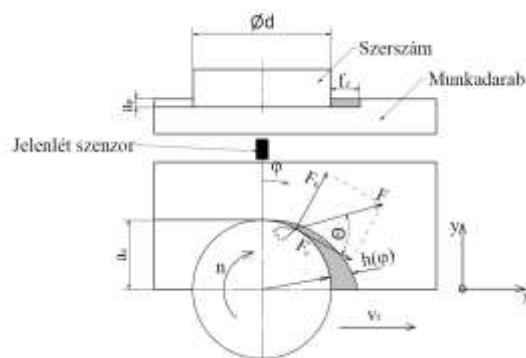
## 2. A KÍSÉRLET

A kísérlet célja, hogy a marás során mért forgácsolási erőkomponensek egymáshoz viszonyított alakulása alapján képet kaphassunk  $h_{min}$  értékéről és a mozgásviszony  $h_{min}$ -re gyakorolt hatásáról állandó fogásvételi paraméterek ( $a_p$  fogásmélység,  $a_e$  fogásszélesség) mellett. Korábbi kísérletek [2,4] eredményeit alapul véve történt a  $v_c$  forgácsoló sebesség és az  $f_z$  élenkénti előtolás tartományának megválasztása. Ugyanezen kísérletek eredményei azt mutatják, hogy a forgácsolási paraméterek és  $h_{min}$  értéke között exponenciális kapcsolat van. Ezért mind az előtolás, mind a forgácsoló sebesség értékeit úgy választottuk meg, hogy az értéktartományok 5-5 értéke mértani sorozatot alkosson. Ezáltal 10 paraméterkombináció jött létre, melyek mindegyikét egy-egy kísérletnél alkalmaztuk. Az első 5 mérés során állandó előtolás mellett változtattuk a forgácsoló sebességet, a második 5 mérés során állandó forgácsoló sebesség mellett változtattuk az előtolás értékeit. A kísérleteket egy  $d = 16$  [mm] átmérőjű Sumitomo WEX2016E típusú marószárral végeztük, melybe egy darab Sumitomo AXMT123504PEERG (élekkerekítés:  $30 \dots 70$  [ $\mu\text{m}$ ]) típusú váltólapkát rögzítettünk. Az alkalmazott forgácsolási paraméterértékek az 1. táblázatban, értelmezésük az 1. ábrán látható.

A megmunkálási paraméterek

1. táblázat

Mérés száma	Előtolás $f_z$ [mm]	Forgácsolósebesség $v_c$ [m/min]	Fogásmélység $a_p$ [mm]	Fogásszélesség $a_e$ [mm]
1.-5.	0,057	50; 71; 100; 141; 200	2	8
6.-10.	0,02; 0,034; 0,057; 0,095; 0,16	100	2	8



1. ábra A mérési elrendezés és jelölései

A kísérleteket két különböző anyagon: C45E jelölésű általános rendeltetésű és S960QL nagyszilárdságú finomszemcsés szerkezeti acélon végeztünk egy Kondia B640 3-tengelyes CNC megmunkálóközponton. A forgácsolás során rögzítésre kerültek a forgácsolási erő munkadarabra ható komponensei egy KISTLER 9257B típusú piezoelektromos erőmérővel és egy KISTLER 5070A típusú töltéserősítővel. Az erőmérőrendszer kimeneteinek számából adódóan több adatgyűjtőt: 2 db National Instruments USB-4431 és egy National Instruments BNC-2110 típusút alkalmaztunk. Egy paraméterkombinációval végzett kísérlet során 50 szerszámfordulatnyi időtartamig rögzítettük az erőket az erőmérő statikus X-Y-Z koordináta rendszerében (ld. 1. ábra). A megmunkáló él  $\varphi$  pozíciójának és a valós fordulatszám meghatározására egy OMRON E3FDS10B4 típusú jelenlétszenzort alkalmaztunk.

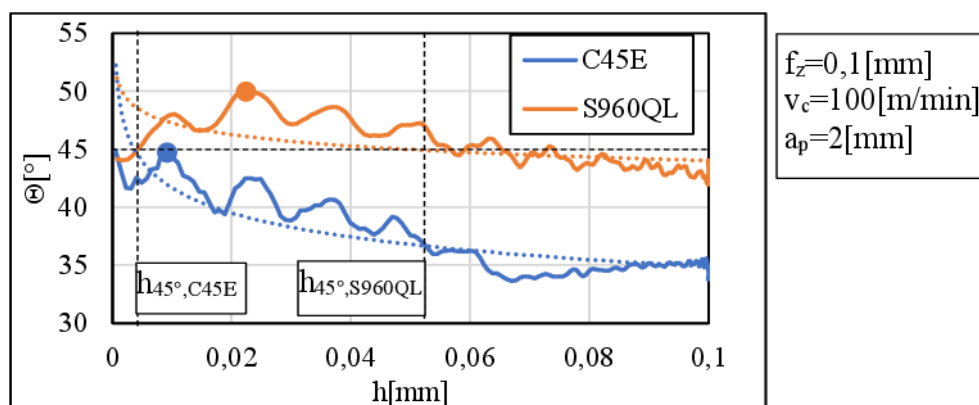
## 3. KIÉRTÉKELÉS ÉS EREDMÉNYEK

A kiértékelés során az 50 fordulatszámú adatsorból generált átlagos erőfelfutások alapján transzformáltuk a megmunkáló élre ható komponensekké ( $F_c$  és  $F_n$ , ld. 1. ábra). Ezek arányából meghatározható a  $\theta$  kinetikai szög az (1) egyenlet szerint. A marószerszám  $\varphi$  elfordulásától függően alakuló leválasztott rétegvastagság modellezése a (2) egyenlet formájában történt.

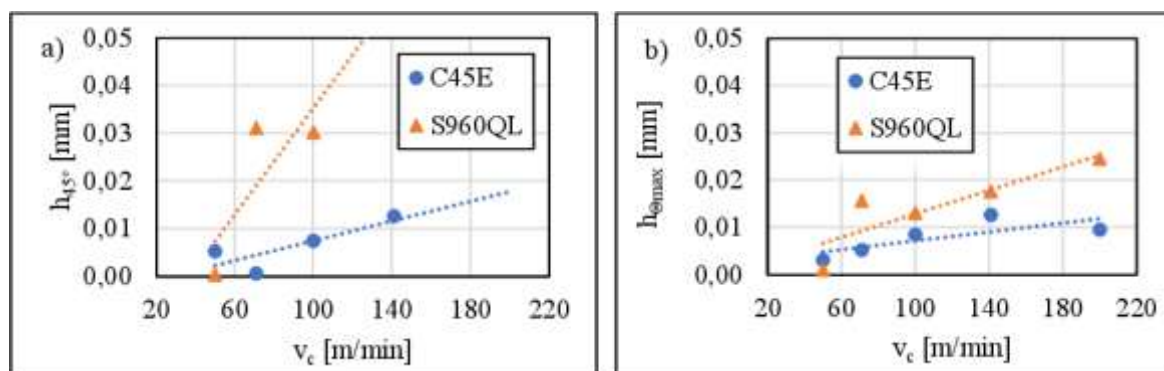
$$\theta = \arctg \left( \frac{F_n}{F_c} \right) \quad (1)$$

$$h(\varphi) = f_z \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

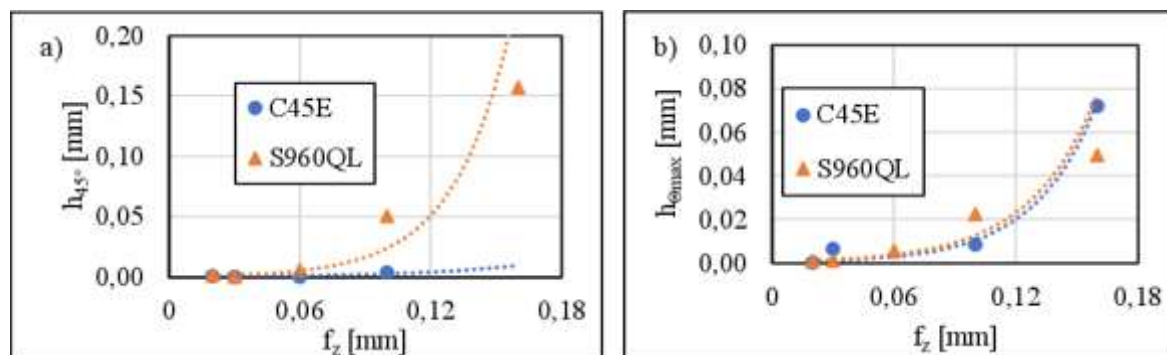
A transzformált erőkomponensekből számított kinetikai szög ábrázolása során jellemzően látható volt egy lokális maximum az erőarány szögének grafikonján (ld. 2. ábrán jelzett pontokat), így rögzítettük azokat is a  $\Theta=45^\circ$ -hoz tartozó rétegvastagság értékek mellett. A későbbiekben a rögzített rétegvastagság értékekre jellegzetes rétegvastagságként hivatkozunk. A  $h_{45^\circ}$  jelöli a  $\Theta=45^\circ$ -hoz tartozó (ld. 3./a és 4./a ábrák),  $h_{\Theta_{\max}}$  pedig a lokális maximumhoz tartozó rétegvastagság (ld. 3./b és 4./b ábrák) értékét. Látható, hogy a forgácsoló sebesség függvényében a jellegzetes rétegvastagságok növekményt mutatnak, azonban ennek jellege nem állapítható meg bizonyossággal a jelenlegi mérési adatokból (ld. 3.a-b ábrák). Az előtolás függvényében azonban egyértelműen látható a jellegzetes rétegvastagságok exponenciális jellegű növekedése (ld. 4.a-b ábrák). Ennek a jelenségnek az oka az lehet, hogy az előtolás növelésével a szerszámot a munkadarabon csúsztatja a szerszám élét, nem pedig beleékeli. Ezáltal több anyagot gyűrhet maga előtt a forgácsoló él hidegalakítás útján, és vastagabb réteg esetén kezdődik meg a forgácsolás.



2. ábra Az mért erőarány szöge a rétegvastagság függvényében, a lokális maximumot pont jelöli



3. ábra A jellegzetes rétegvastagságok a forgácsoló sebesség függvényében



4. ábra A jellegzetes rétegvastagságok alakulása az előtolás függvényében

Görbe	$h = \alpha \cdot v_c + \beta$			$h = \gamma \cdot e^{\delta \cdot f_z}$		
Anyag		S960QL	C45E		S960QL	C45E
$h_{45^\circ} [\mu\text{m}]$	$\alpha$	0,5578	0,1037	$\gamma$	0,5079	0,2886
	$\beta$	-20,545	-2,9164	$\delta$	38,383	21,845
$h_{\Theta\text{max}} [\mu\text{m}]$	$\alpha$	0,1244	0,0472	$\gamma$	0,3955	0,6020
	$\beta$	0,4255	2,513	$\delta$	32,634	30,333

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikkben a minimális leválasztható rétegvastagság vizsgálatát végeztük el makroszkopikus méretű, a hétköznapiakban használt szerszámgeometriával, ellenirányú marást alkalmazva. A mérés során az élre ható erőkomponensek nagyságának arányából meghatározott jellegzetes rétegvastagság értékek alakulását vizsgáltuk két forgácsolási paraméter: az élenkénti előtolás és a forgácsoló sebesség függvényében. A minimálisan leválasztható rétegvastagság reprezentálására alkalmazott jellegzetes rétegvastagságok nagyságrendileg ( $\{h_{45^\circ}, h_{\Theta\text{max}}\} = 5 \dots 75 [\mu\text{m}]$ ) megfelelnek az irodalomkutatás során látott, élekkerekítési sugárhoz viszonyított értékeknek. A forgácsoló sebesség hatására jellemzően növekedményt mutat  $h_{45^\circ}$  és  $h_{\Theta\text{max}}$ , azonban az értékek nagy szórása szükségessé teszi a további kutatást. Sokkal pontosabb eredményre vezetett az előtolástól való függés vizsgálata, ahol egyértelműen látszik, hogy a jellegzetes rétegvastagságok növekedése exponenciális jellegű. Ezen mérések pontosítása a már mért adatok kiértékelésének további vizsgálatával végezhető, például a szögelfordulás függvényében vizsgált rétegvastagság pontos, hurkolt ciklois pályájából számított nagyságával.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző részvételét az OGÉT 2021 konferencián az Emberi Erőforrás Támogatáskezelő NTP-HHTDK-20 pályázata támogatta. A publikációban megjelenő eredmények az ITM NKFIÁ által nyújtott TKP2020 IKA támogatásból, az NKFIH által kibocsátott támogatói okirat alapján valósultak meg (projekt azonosító: TKP2020 BME-IKA-NAT).

#### IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] M. Agmell, D. Johansson, S. V. A. Laakso, A. Ahadi, és J.-E. Ståhl, „The Influence the Uncut Chip Thickness has on the Stagnation Point in Orthogonal Cutting”, *Procedia CIRP*, köt. 58, o. 13–18, 0 2017, doi: 10.1016/j.procir.2017.03.183.
- [2] I. Biró és T. Szalay, „Extension of empirical specific cutting force model for the process of fine chip-removing milling”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, köt. 88, 0 2017, doi: 10.1007/s00170-016-8957-x.
- [3] T. Mikołajczyk, H. Latos, D. Yu. Pimenov, T. Paczkowski, M. K. Gupta, és G. Krolczyk, „Influence of the main cutting edge angle value on minimum uncut chip thickness during turning of C45 steel”, *J. Manuf. Process.*, köt. 57, o. 354–362, szept. 2020, doi: 10.1016/j.jmapro.2020.06.040.
- [4] I. Biró, T. Szalay, és N. Geier, „Effect of cutting parameters on section borders of the empirical specific cutting force model for cutting with micro-sized uncut chip thickness”, *Procedia CIRP*, köt. 77, o. 279–282, 0 2018, doi: 10.1016/j.procir.2018.09.015.
- [5] S. Wojciechowski, M. Matuszak, B. Powalka, M. Madajewski, R. W. Maruda, és G. M. Królczyk, „Prediction of cutting forces during micro end milling considering chip thickness accumulation”, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, köt. 147, o. 103466, 0 2019, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2019.103466.
- [6] J.-H. Lee és A. A. Sodemann, „Geometrical Simulation of Chip Production Rate in Micro-EndMilling”, *Procedia Manuf.*, köt. 26, o. 209–216, 0 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.07.029.